

# 공간 지역 확장과 계층 연결 기법을 이용한 무감독 영상 분류

이 상 훈

경원대학교 산업공학과

경기도 성남시 수정구 복정동 산 65, (우) 461-701

전화: 031) 750-5367 전자우편: shl@mail.kyungwon.ac.kr

## 요 약

본 연구는 무감독 영상 분류를 위하여 지역 확장 영상 분할과 계층 연결 영상 분류를 포함하는 다중 단계 기법을 제안하고 있다. 모의 자료를 사용하여 제안된 알고리즘 대한 평가와 효율성에 대한 검증을 하였다.

## 1. 서론

원격 탐사에서 수집된 지표면 영상은 한정된 수의 클래스(class)들로 분류되어 진다. 각 클래스는 화소(pixel)들의 집단으로 영상 분석에서는 같은 클래스 내의 화소들에 해당하는 지상 지역은 동일한 물리적 특성을 가지고 있으며 서로 다른 클래스에 속한 지역들의 특성은 동일하지 않고, 클래스와 연계된 지역의 물리적 특성은 감지 시스템의 관측 값의 통계적 특성에 의해 대표되어 진다고 가정한다. 영상 분류(image classification)를 위하여서는 최대 우도 분류법(maximum likelihood classification: MLC)과 같이 관측 지역의 클래스 수와 각 클래스의 관측 값의 통계적 특성에 대한 사전 지식이 필요한 감독 기법을 일반적으로 사용한다. 클래스의 수가 알려져 있을 경우 클래스의 통계적 특성에 대한 사전 정보는 훈련 견본(training sample)을 사용하여 얻는다. 그러나, 훈련 과정을 통하여 클래스의 통계적 특성 값을 추정하기 위하여서는 대단히 많은 경비가 필요할 뿐 아니라 지상의 많은 지역은 정치적 혹은 지형적 이유 때문에 접근이 불가능하므로 많은 경우 정확한 훈련 지역을 설정하는 것은 매우 어렵거나 불가능하다. 감독 기법에 의한 영상 분류에서는 분석 지역내의 클래스의 수의 선택에 따라 분석 결과에 상당한 차이가 있지만, 시간에 따라 지표면 현상이 변하므로 정확한 클래스의 수의 결정은 또한 매우 어렵다. 그러므로, 원격 탐사 자료의 영상 분류를 위하여서는 관측 지역의 특성에 관한 사전 정보 없이 지역적 특성과 관련된 통계적 특성 값의 추정을 포함하는 무감독(unsupervised) 분석 기법은 매우 중요하다.

영상 분할(image segmentation)에 있어 고려되어야 할 가장 중요한 제약중의 하나는 수치 영상(digital image)은 계층 구조(hierarchical structure)를 갖고 있다는 것이다. 즉, 계층 구조에서는 하위 수준의 소지역(sub-region)들은 상위 수준의 하나의 지역으로 합해지고 현재의 상위 수준의 지역들은 다음의 상위 수준의 소지역으로 다시 하나의 지역으로 합해진다. 이러한 계층 구조에 기반을 두고 유사/비유사 계수에 의해 두 지역의 합병을 수행하는 계층 연결(hierarchical clustering) 기법은 무감독 분석을 위한 가장 적합한 방법이다. 그러나, 원격 탐사의 영상 자료와 같이 방대한 요소를 포함하는 분석에서는 단계별로 두 개의 소지역을 하나의 지역으로 결합해 가는 일반적 계층 연결법은 계산/기억 상의 막대한 비용을 초래하므로 실질적으로 적절하지 못하다. 본 연구는 원격 탐사 영상 자료의 무감독 영상 분류를 위하여 지역 확장 영상 분할을 통한 다중 단계 계층 연결 분류(MHCC: Multi-stage Hierarchical Clustering Classification) 기법을 제안하고 모의 자료를 사용하여 제안된 알고리즘 대한 평가와 효율성에 대한 검증을 하였다.

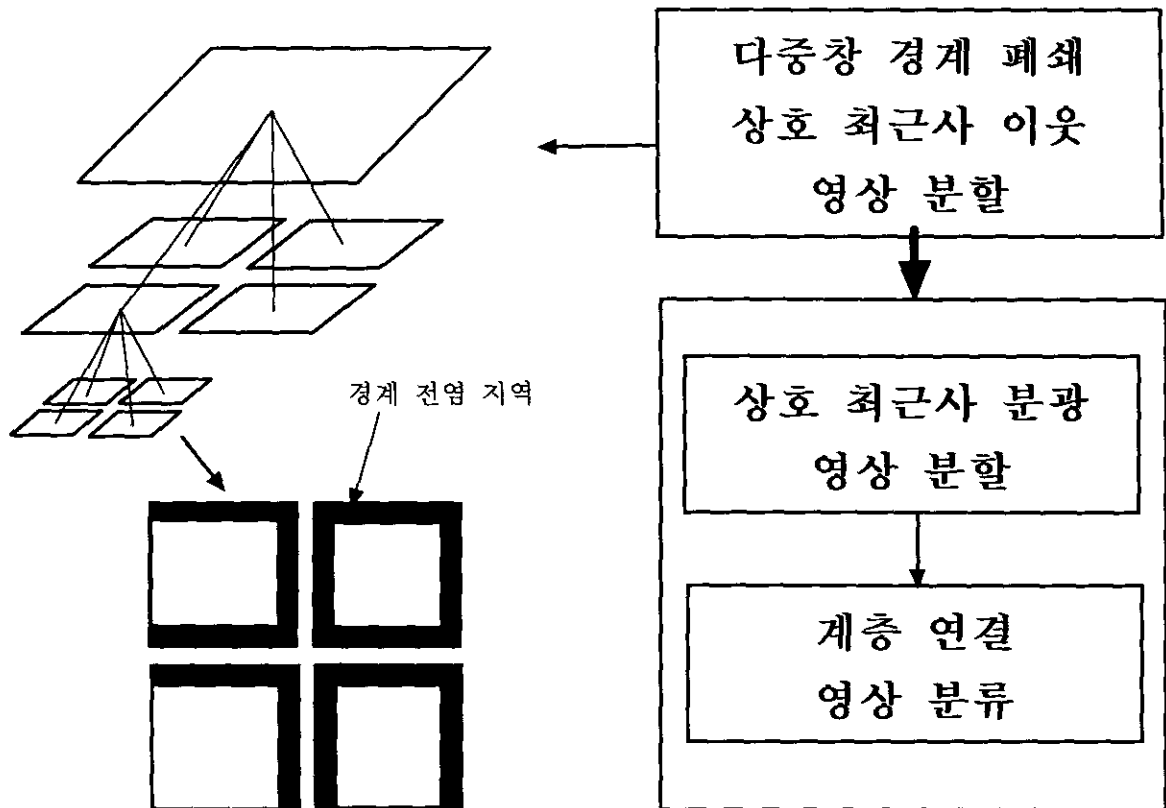


Fig. 1. Multi-stage image classification

## 2. 다중 단계 계층 연결 분류 기법

이 연구에서 개발된 영상 분류법은 Fig. 1에서 보여지는 것처럼 크게 두 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 지역 확장 영상 분할 단계로 영상의 계층 구조에 의해 공간적으로 근접하고 있는 이웃 지역간의 결합을 통하여 최종적으로 전체 영상 공간내의 모든 지역에 대해서 서로 이웃하고 있는 지역들의 물리적 특성은 서로 다르도록 영상을 분할하는 과정이다. 이 단계에서는 상호 최근사 이웃(mutual closest neighbor) 지역들 중에서 최선의 결합을 선택하는 계층 연결 기법을 이용한다. 두 번째 단계는 결합 지역의 공간적 제약 없이 영상 분할 단계에서 분할된 지역을 상대적으로 적은 수의 클래스(class)로 분류하는 과정이다.

원격 탐사된 영상 자료는 방대한 양의 분석을 필요로 하므로 이 연구에서 제안된 것처럼 단지 이웃 지역간의 결합을 하는 공간적 제약을 준다고 하여도 계층 연결에 기반을 둔 분석법은 원격 탐사에서 실제적으로 사용하기에는 너무 많은 계산/기억량을 요구한다. 이 연구에서는 다중 단계의 다중창 작업(multi-window operation)을 통하여 계층 연결 영상 분할의 계산상의 효율성을 증가시켰다. 단순히 분리된 창에 대한 독립적으로 영상 분할을 수행하는 다중창 작업은 창의 경계로 인하여 왜곡된 영상 분할 결과를 초래한다. 다중창 작업에서 서로 다른 창에 위치하고 있는 동일 특성의 지역은 창의 경계를 통하여 연결되어야 사실에 근거하여 이 연구에서는 경계에 위치한 지역들을 결합 불능 전역 지역으로 지정하는 경계 폐쇄 작업(boundary blocking operation)을 사용하였다.

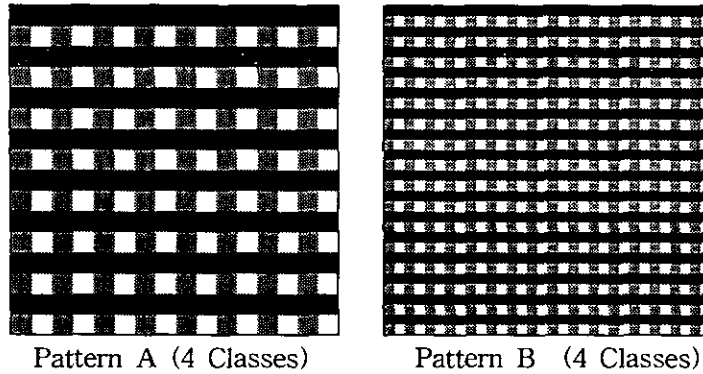


Fig. 2. Image patterns for evaluation of image segmentation.

영상 분류 단계에서 초기에 모든 지역간의 결합을 고려하는 계층 연결 기법을 사용한다. 그러므로, 초기의 결합 가능 수에 따라 계산/기억 량은 지수적으로 증가하므로 영상 분할 단계의 결과로서 생성된 분할 지역의 수가 많을 경우 알고리즘의 효율성은 현저히 저하된다. 이 연구에서는 영상 분류 단계는 초기 분할 지역의 수에 따라 계산/기억 량의 지수적 증가를 막기 위하여 두 개의 세부 단계로 나누어진다. 영상 분할 단계에서는 공간적 근접성에 의해 결합 가능 지역을 제한하였지만 첫 번째 세부 단계에서는 분광 값의 근사성에 의해 결합 가능 지역을 제한하여 상호 최근사 분광(mutual closest intensity) 지역들 중에서 최선의 결합 짝을 선택한다. 두 번째 세부 단계에서 결합 가능 지역의 제약 없이 계층 연결 기법을 통하여 최종적으로 영상을 분류하며 최적의 클래스의 수는 연속적인 합병 단계중 현 단계의 유사/비유사 계수와 다음 합병 단계의 계수의 비율이 최소/최대인 단계에서 결정된다.

### 3. 실험 결과

다음의 제안된 알고리즘에 대한 본 연구의 평가 실험은 가산 가우시안 노이즈(additive Gaussian noise) 영상 모형의 모사 자료와 550MHz 펜티엄 III PC의 LINUX 시스템을 사용하였다. 영상의 질 즉 노이즈 수준을 나타내기 위하여 SNR(signal-to-noise)를 평균 노이즈 편차에 대한 최소 클래스간의 강도 차이로서 정의되었다. 이 연구에서는 다중 밴드의 모의 영상 자료에 대해서 평가 목적 상 각 밴드의 클래스의 평균 강도와 강도 편차가 동일하도록 생성하였다. 즉 모사 자료에 있어 각 밴드의 SNR값이 일정하다. 그리고 영상 분할의 오류를 측정하기 위하여 다음과 같은 통계 값을 정의한다:

$$MSE_{error} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m (\hat{\mu}_{ik} - \mu_{ik})^2}{nm}} \delta_m$$

- $\hat{\mu}_{ik}$  : 영상 분할 결과의 i번째 화소에 대한 k번째 밴드의 추정 평균 강도 값
- $\mu_{ik}$  : 영상 분할 결과의 i번째 화소에 대한 k번째 밴드의 원래 평균 강도 값
- n : 분석 영상의 총 화소 수
- m : 분석 영상의 총 밴드 수
- $\delta_m$  : 영상 내의 클래스간의 최소 평균 강도 차이.

노이즈의 수준에 따라 다중 밴드 영상에서 밴드 정보량의 증가가 알고리즘의 결과에 주는 영향을 Fig. 3의 A 패턴(pattern)을 사용하였고 B 패턴이 노이즈 수준의 향상에 따른 단일 밴드 영상 분석 결과에 대한 영향을 알아보기 위하여 사용하였다. 평가 목적으로 MHCC의 지역 확장 영상 분할 단계에서 원래의 패턴이 갖고있는 분할 지역의 수와 일치하도록 영상이 분할되도록 분할 과정을 수행하였다. 예를 들어 A 패턴의  $1024 \times 1024$  모의 영상의 경우 256개의 소지역으로 분할이 된다. Table 1은 MHCC의 지역 확장 영상 분할 결과에 대한  $MSE_{error}$  오류 값이고 Fig. 3은 3 밴드 모의 관측 영상과 분할 후의 결과 영상이다. 분할 영상에서의 화소의 값은 화소가 속한 분할 지역의 평균 강도이며, 노이즈 수준에 따라 강도 수준이 다르고, 각 밴드의 강도(색) 수준이 동일하므로 3 밴드 영상은 회색 수준의 영상과 유사하게 보여진다. Table 1과 Fig. 3에서 보여 지듯이 분할 영상과 오류 값의 비교한 결과  $MSE_{error}$  값이 대략 0.3이하이면 분할 영상이 노이즈가 없는 원래의 영상을 적절하게 표현하고 있는 것으로 나타났다. Table 2와 Table 3에서 보여진 것처럼 다중창 경계 폐쇄 작업에 의해 지역 확장 영상 분할 과정에서 CPU 사용시간은 현저히 감소된 반면 분할 오류 수준은 다층 구조의 수준에 관계없이 일정하고, CPU 사용시간과 분석 영상 크기/밴드 수는 선형적으로 비례한다.

Table 1. Results of  $MSE_{error}$  of Image Segmentation for Simulated Noisy Images

Pattern A					Pattern B	
SNR	1 Band	3 Bands	5 Bands	10 Bands	SNR	1 Band
0.5	0.74	0.34	0.26	0.19	1.0	0.50
1.0	0.38	0.15	0.11	0.08	2.0	0.18
1.5	0.21	0.08	0.06	0.04	3.0	0.09
2.0	0.13	0.06	0.04	0.03	4.0	0.05

Table 2. Comparisons of Computational Time of Image Segmentation for Different Levels of Hierarchical Structure in Multi-window Operation.

Level	Base-window Size	CPU Time(sec)	$MSE_{error}$
5	$16 \times 16$	12.85	0.20
4	$32 \times 32$	12.28	0.20
3	$64 \times 64$	13.88	0.19
2	$128 \times 128$	24.94	0.20
1	$256 \times 256$	76.70	0.20
0	$512 \times 512$	365.72	0.20

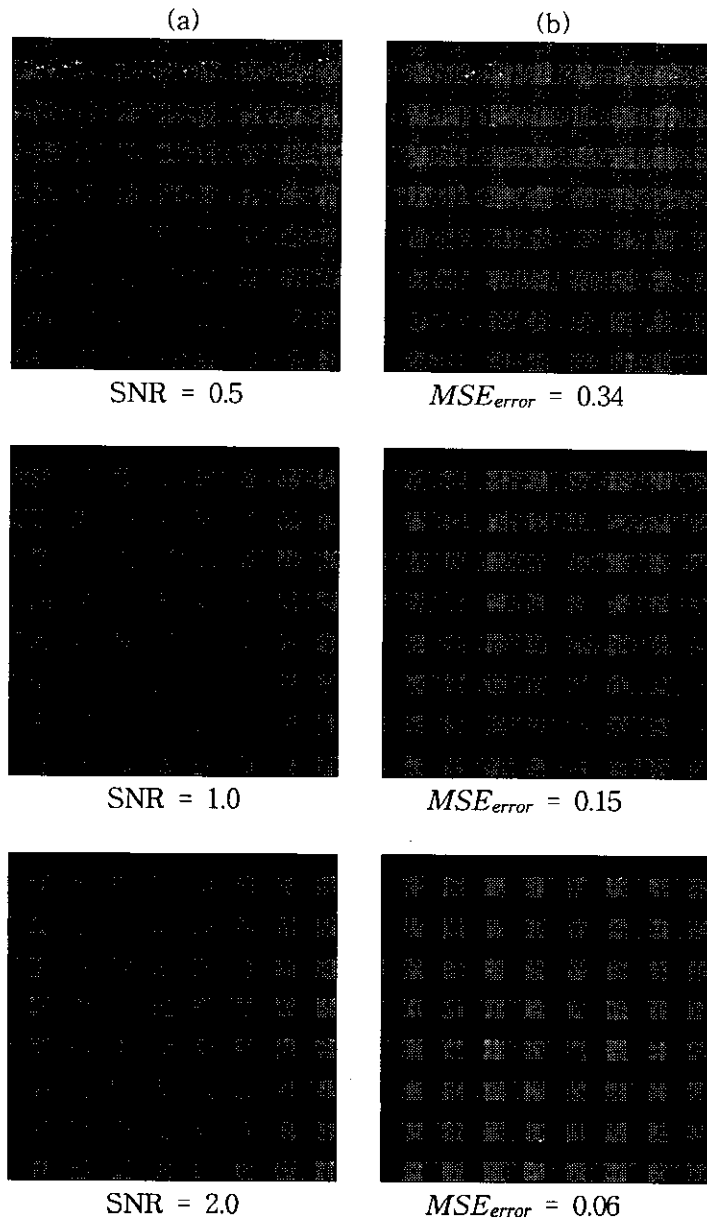


Fig. 3. 3-band simulated noisy images (a) and segmented intensity images (b) of Pattern A.

Table 3. Comparisons of Computational Time of Image Segmentation with Base-windows of  $32 \times 32$  in Bottom Level of Hierarchical Structure.

1 Band Image		1024×1024 Image	
Size	CPU Time(sec)	Number of Band	CPU Time(sec)
512×512	12.28	3	67.96
1024×1024	56.32	5	83.14
2048×2048	255.47	10	169.05

다음으로 Fig. 4에 보여진 C, D, E 패턴들의 모의 자료를 추가적으로 사용한 MHCC의 영상 분류에 대한 실험을 하였으며 분류 결과가 Table 4에 보여지고 있다. MHCC에서 영상 분류를 위한 시스템의 CPU 사용 시간은 지역 확장 영상 분할 과정에 비해 무시할 만한 수준이었다. 이 실험에서는 기존의 원격 탐사 영상 자료 처리용 소프트웨어에 설치된 MLC와 MHCC의 분류 결과를 Fig. 4에 보여진 C, D, E의 패턴의 모의 관측 영상을 사용하여 비교하였다. Table 5는 비교 실험을 위하여 사용된 모의 영상들의 클래스의 평균 강도와 노이즈 수준이며 Fig. 5는 분류 결과 영상과 오류 화소(mis-classified pixel)가 검은 점으로 나타난 오류 맵(error map)을 보여 주고 있다. 또한 높은 SNR값을 갖는, 즉 노이즈가 적은 E 패턴의 단일 밴드 모의 영상에 대한 MLC의 분류 결과에 대한 오류율과 오류맵이 Fig. 6에 보여주고 있다.

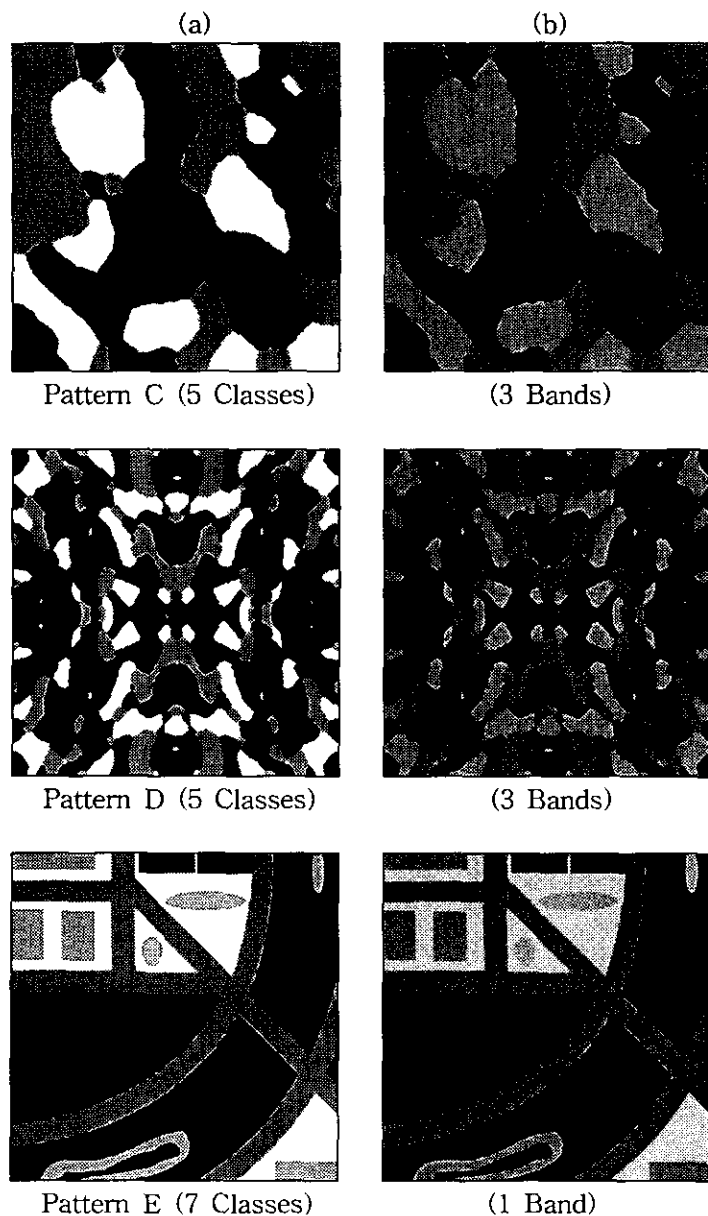


Fig. 4. Pattern images (a) and simulated noisy images (b) for evaluation of image classification.

Table 4. Comparisons of Classification Error in Percent (The estimated number of classes is shown in parenthesis when it is not equal to the true one.)

Number of Bands	Pattern A (4 Classes)			Pattern C (5 Classes)			Pattern D (5 Classes)		
	SNR=0.5	SNR=1.0	SNR=2.0	SNR=0.5	SNR=1.0	SNR=2.0	SNR=0.5	SNR=1.0	SNR=2.0
1	52.80(2)	13.73	1.30	45.22(6)	0.12	0.01	43.45(3)	12.71	1.18
3	7.47	1.66	0.19	2.58	0.48	0.07	6.24	1.39	0.20
5	3.69	0.77	0.07	0.98	0.25	0.03	2.96	0.74	0.08
10	2.64	0.31	0.01	0.54	0.12	0.01	1.72	0.35	0.01

(Single Band)

Pattern	SNR = 1.0	SNR = 2.0	SNR = 3.0	SNR = 4.0	SNR = 5.0
B (4 Classes)	20.26	2.65	0.64	0.19	0.07
E (7 Classes)	25.43(3)	5.43(5)	0.06	0.02	0.01

Table 5. Values of Mean Intensity and Noise Standard Deviation of Simulated Images Displayed in Fig. 4.

Patterns C and D	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
Mean Intensity	70	100	130	160	190
Noise Standard Dev.	10	30	60	30	10

Pattern E	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7
Mean Intensity	40	70	100	130	160	190	220
Noise Standard Dev.	6	10	15	30	15	10	6

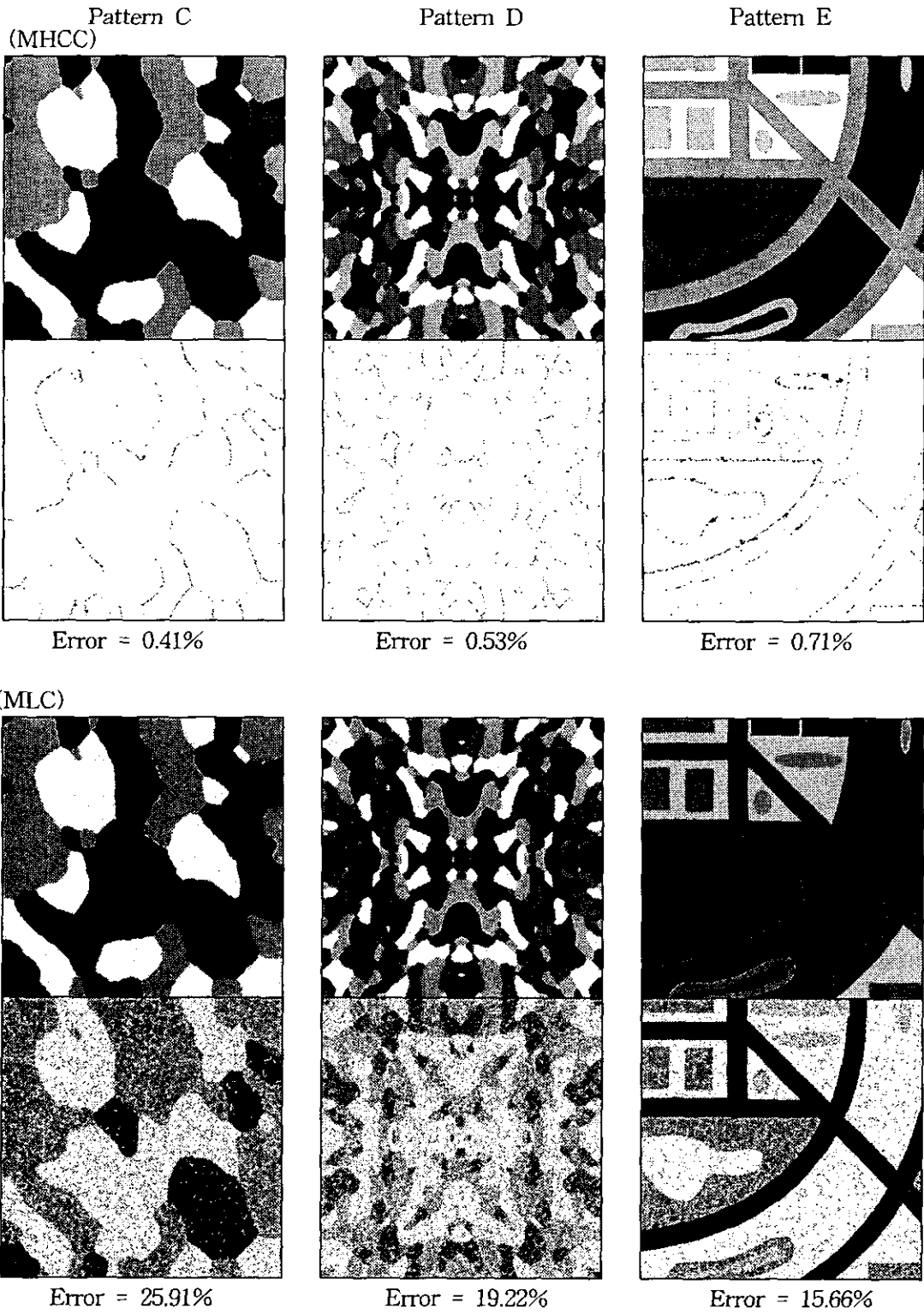


Fig. 5. Classified images and miss-classification error maps (miss-classified pixels in black) resulted from MHCC and MLC for simulated images displayed in Fig. 4..



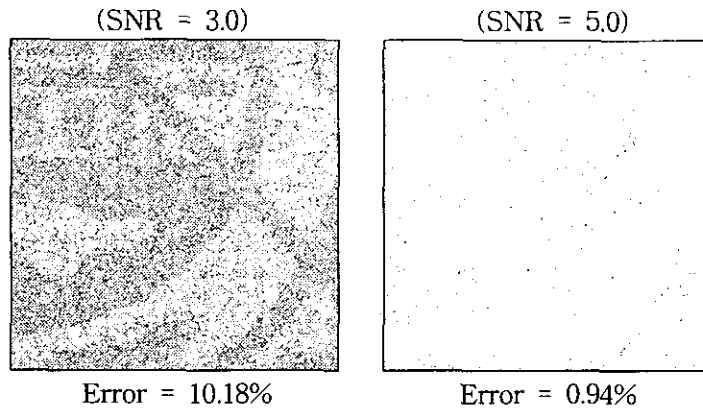


Fig. 6. Miss-classification error maps resulted from MHCC and MLC for single-band simulated images of Pattern E.

#### 4. 결론

본 연구에서는 지역 확장 영상 분할을 통한 다중 단계 계층 연결 분류 기법을 제안하고 있다. 제안된 다중창 경계 폐쇄 작업 알고리즘은 원격 탐사 영상 자료의 분류를 위하여 계층 연결에 의한 무감독 분석법을 실제적 적용을 가능하게 하였다. 실험 결과에서 보여지듯 MHCC는 다른 감독 기법과 충분히 경쟁적이며 특히 대표적 감독 기법인 MLC는 매우 적은 노이즈를 포함하고 있는 영상 자료에서만 MHCC와 경쟁할 수 있음을 실험 결과는 보여 주고 있다.

#### 참고 문헌

- Anderberg, M.R, *Cluster Analysis for Application*, Academic Press, NY, 1973.  
 Lee, S. and M.M. Crawford, Unsupervised multistage segmentation using Markov random field and maximum entropy principle, *Proc. ICIP-94*, vol. II, pp192-196, 1994.